

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-340846

(43) 公開日 平成10年(1998)12月22日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 1 5 D

G 0 3 F 7/20

5 2 1

G 0 3 F 7/20

5 2 1

H 0 1 L 21/30

5 1 6 A

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号

特願平9-151985

(22) 出願日

平成9年(1997)6月10日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 工藤 威人

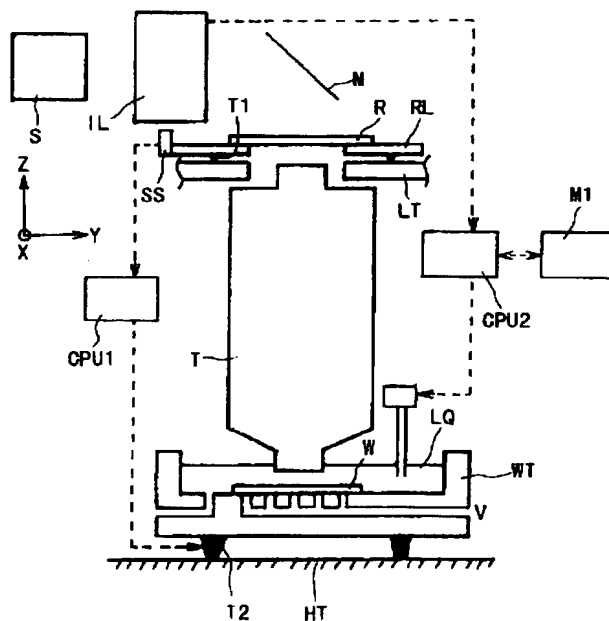
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(54) 【発明の名称】 露光装置及びその製造方法並びに露光方法及びデバイス製造方法

(57) 【要約】

【課題】、連続的な結像性能の補正を振動を伴うことなく可能とすること、或いは投影光学系の開口数の増大及び結像性能の補正を両立すること

【解決手段】 レチクルR上に設けられたパターンを照明する照明光学系I Lと、このパターンの像を感光性基板上に形成する投影光学系Tとを有し、投影光学系と感光性基板との間の光路中の少なくとも一部分に位置する液体L Qを介して露光を行う露光装置であって、液体の屈折率を調整するための屈折率調整手段を有する。



**【特許請求の範囲】**

【請求項 1】 レチクル上に設けられたパターンを照明する照明光学系と、該パターンの像を感光性基板上に形成する投影光学系とを有し、前記投影光学系と前記感光性基板との間の光路中の少なくとも一部分に位置する液体を介して露光を行う露光装置において、前記液体の屈折率を調整するための屈折率調整手段を有することを特徴とする露光装置。

【請求項 2】 前記屈折率調整手段は、前記投影光学系の結像性能を補正するように前記液体の屈折率を調整することを特徴とする請求項 1 記載の露光装置。

【請求項 3】 前記投影光学系の結像性能を測定する結像性能測定手段をさらに備え、前記屈折率調整手段は、前記結像性能を補正するように前記液体の屈折率を調整することを特徴とする請求項 2 記載の露光装置。

【請求項 4】 前記投影光学系の結像性能の変動の要因の状態を検知する変動要因検知手段をさらに備え、前記屈折率調整手段は、前記要因の状態に応じて、前記結像性能を補正するように前記液体の屈折率を調整することを特徴とする請求項 1 記載の露光装置。

【請求項 5】 前記照明光学系は、前記レチクルに対する照明条件を変更可能に構成され、前記変動要因検知手段は、前記照明条件の状態を検知し、

前記屈折率調整手段は、前記照明条件の変更に応じて、前記結像性能を補正するように前記液体の屈折率を調整することを特徴とする請求項 4 記載の露光装置。

【請求項 6】 前記変動要因検知手段は、前記レチクルの種類を判別するものであり、前記屈折率調整手段は、前記レチクルの種類に応じて、前記結像性能を補正するように前記液体の屈折率を調整することを特徴とする請求項 4 記載の露光装置。

【請求項 7】 前記感光性基板を保持する感光性基板ホルダーをさらに備え、該感光性基板ホルダーは、前記投影光学系と前記感光性基板との間の光路を前記液体で満たすための側壁と、前記液体を前記感光性基板ホルダーへ供給すると共に前記感光性基板ホルダーから回収するための供給・回収ユニットとを備えることを特徴とする請求項 1 乃至 6 の何れか一項記載の露光装置。

【請求項 8】 前記屈折率調整手段は、前記液体に屈折率を調整するための添加剤を供給する添加剤供給ユニットと、前記液体から前記添加剤を回収するための添加剤回収ユニットとを有することを特徴とする請求項 1 乃至 7 の何れか一項記載の露光装置。

【請求項 9】 所定の照明条件のもとでレチクルを照明する工程と、前記レチクル上に設けられたパターンを投影光学系を用いて感光性基板上に転写する工程とを含み、前記投影光学系からの光を所定の液体を介して前記感光性

基板へ導く露光方法において、

前記投影光学系の結像性能を補正するために、前記液体の屈折率を調整する工程を含むことを特徴とする露光方法。

【請求項 10】 所定の照明条件のもとでレチクルを照明する工程と、前記レチクル上に設けられたデバイスパターンを投影光学系を用いて感光性基板上に転写する工程とを含み、前記投影光学系からの光を所定の液体を介して前記感光性基板へ導くデバイス製造方法において、前記レチクル及び前記照明条件のうち少なくとも一方が変更されたときに、前記液体の屈折率を変更することを特徴とするデバイス製造方法。

【請求項 11】 レチクル上に設けられたパターンを照明する照明光学系と、該パターンの像を感光性基板上に形成する投影光学系とを有し、前記投影光学系と前記感光性基板との間の光路中の少なくとも一部分に位置する液体を介して露光を行う露光装置の製造方法において、前記投影光学系の結像性能を測定する工程と、該測定された結像性能に基づいて、前記液体の屈折率の初期値を定める工程とを含むことを特徴とする露光装置の製造方法。

**【発明の詳細な説明】****【0001】**

【発明の属する技術分野】 本発明は、レチクル上に設けられたデバイスパターンのを感光性基板上に投影する投影光学系を備えた露光装置及び該露光装置を用いた露光方法並びにデバイス製造方法に関する。さらに詳しくは、本発明は投影光学系と感光性基板との間の光路に液体を充填した液浸型露光装置に関する。本発明は、半導体素子、撮像素子（CCD等）、液晶表示素子、または薄膜磁気ヘッド等を製造する際に好適なものである。

**【0002】**

【従来の技術】 光学系の最終面と像面との間の空間を、ワーキングディスタンスと言うが、従来の露光装置の投影光学系ではワーキングディスタンスは空気で満たされていた。ところで、ICやLSIを製造する過程に於いてシリコンウエハに露光するパターンは、その微細化が常に望まれていて、そのためには露光に用いる光の波長を短くするか、あるいは像側の開口数を大きくする必要がある。光の波長が短くなるにつれ、満足できる結像性能を得つつ露光に満足な光量を確保できるだけの透過率を持つガラス材料は少なくなってくる。

【0003】 そこで像面までの最終媒質を、空気より屈折率の大きい、液体にすることで像側の開口数を大きくすることが提案されていて、そのように液体を用いた投影光学系を持つ露光装置は、液浸型露光装置と呼ばれている。さて、露光装置においては、投影光学系の結像性能を補正するために、投影光学系の最も物体側の光路或いは最も像側の光路中に、結像性能を調整するための結像性能補正部材を交換可能に設ける技術が知られてい

る。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、液浸型露光装置では、投影光学系と感光性基板との間の光路（ワーキングディスタンス）に液体を満たす構成であるため、結像性能を補正するための部材を配置することが困難である。また、このような結像性能補正部材は、有限の数、現実的な装置の構成を考えると数個程度しか準備することができないため、離散的にしか結像性能を補正できない問題点がある。

【0005】また、投影光学系の結像性能は所定の許容範囲に収める必要があるが、上述のように結像性能の補正が離散的にしかできなければ、この所定の許容範囲内に収めることが困難となる。特に、露光パターンの微細化や露光面積の増大が求められると、この結像性能の許容範囲が狭くなり、また、レチクルと感光性基板とを走査させつつ露光を行う走査露光方法を行う場合にも結像性能特性の変動幅の許容範囲が狭くなっており、離散的な補正では対応しきれない。

【0006】また、上述のような結像性能補正部材の交換時において、投影光学系自体の振動が発生するため、結像性能へ悪影響が生じる恐れもある。そこで、本発明は、連続的な結像性能の補正を振動を伴うことなく可能とすることを第1の目的とする。また、本発明は、投影光学系の開口数の増大と結像性能を補正することとの両立を第2の目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】上述の第1の目的を達成するために、本発明による露光装置は、レチクル上に設けられたパターンを照明する照明光学系と、このパターンの像を感光性基板上に形成する投影光学系とを有し、投影光学系と感光性基板との間の光路中の少なくとも一部分に位置する液体を介して露光を行う露光装置であって、液体の屈折率を調整するための屈折率調整手段を有するものである。

【0008】ここで、上記請求項2に掲げた好ましい態様によれば、屈折率調整手段は、前記投影光学系の結像性能を補正するように液体の屈折率を調整するものである。この構成に基づいて、請求項3に掲げた好ましい態様によれば、投影光学系の結像性能を測定する結像性能測定手段をさらに備えるものであり、屈折率調整手段

は、前記結像性能を補正するように液体の屈折率を調整するものである。

【0009】また、請求項4に掲げた好ましい態様によれば、投影光学系の結像性能の変動の要因の状態を検知する変動要因検知手段をさらに備えるものであり、屈折率調整手段は、要因の状態に応じて、結像性能を補正するように液体の屈折率を調整するものである。この構成に基づいて、請求項5に掲げた好ましい態様によれば、照明光学系は、前記レチクルに対する照明条件を変更可能に構成され、変動要因検知手段は、照明条件の状態を検知し、屈折率調整手段は、照明条件の変更に応じて、結像性能を補正するように液体の屈折率を調整するものである。

【0010】そして、請求項6に掲げた好ましい態様によれば、変動要因検知手段は、レチクルの種類を判別するものであり、屈折率調整手段は、レチクルの種類に応じて、結像性能を補正するように液体の屈折率を調整するものである。また、上述の第2の目的を達成するためには、投影光学系と感光性基板との間の光路の全てを液体で満たすことが好ましい。このとき、本発明による露光装置は、投影光学系と感光性基板との間の光路を前記液体で満たすための側壁と、液体を前記感光性基板ホルダーへ供給すると共に前記感光性基板ホルダーから回収するための供給・回収ユニットとを備え、感光性基板を保持する感光性基板ホルダーをさらに有することが好ましい。

【0011】また、屈折率調整手段は、液体に屈折率を調整するための添加剤を供給する添加剤供給ユニットと、液体から前記添加剤を回収するための添加剤回収ユニットとを有することが好ましい。

【0012】

【発明の実施の形態】上述の構成のごとき本発明においては、投影光学系と感光性基板との間の光路中に位置する液体の屈折率を調整することができるため、この屈折率の変化により投影光学系の結像性能を補正することができる。ここで、屈折率調整の手法としては、液体が多物質の混合液体であるとする、この混合液体の屈折率  $n$  は、ローレンツ・ローレンス (Lorentz-Lorenz) の式に従い、

【0013】

【数1】

$$\left( \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right) = \sum_{i=1,2,\dots} m_{(i)} \times \left( \frac{n_{(i)}^2 - 1}{n_{(i)}^2 + 2} \right) \times \frac{\rho}{\rho_{(i)}}$$

【0014】となる。但し、

【0015】

【数2】

$n_{(i)}$  :  $i$  番目の物質の屈折率、  
 $m_{(i)}$  :  $i$  番目の物質の重量分率、  
 $\rho_{(i)}$  :  $i$  番目の物質の密度、

【0016】である。例えば液体を水溶液とすると、この水溶液の屈折率が水溶液自体の濃度に応じて変化するため、水溶液へ添加する物質の濃度を増減させれば良い。これにより、投影光学系の結像性能を補償できる屈折率の値となるように、液体の屈折率を変化させれば、投影光学系の結像性能は良好なものとなる。

【0017】ここで、屈折率の調整は、例えば投影光学系の収差などの結像性能を測定し、その結果に応じて屈折率を調整しても良く、投影光学系の結像性能の変動に対応している要因の変動を検知して、その結果に応じて屈折率を調整しても良い。前者の投影光学系の結像性能を測定する手法においては、露光装置の製造時に投影光学系の収差などを測定し、この収差を補償する屈折率の値を液体の屈折率の初期値に設定しても良い。このように製造時の調整の一部として屈折率を調整すれば、製造・調整が容易となる利点がある。また、露光装置自体に収差測定機構などを設けておき、この収差測定機構による収差測定結果に応じて、液体の屈折率を変更しても良い。

【0018】一方、後者の結像性能の変動に対応する要因の変動としては、レチクルの種類、照明条件の状態、投影光学系を通過する露光エネルギー量などが挙げられる。ここで、レチクルを照明する際の照明条件（ $\sigma$ 値、変形照明か否かなど）は、レチクル上に設けられるパターンの種類によって最適なものが決まり、この照明条件が変わると、投影光学系の収差を初めとする結像性能が変化する。そこで、例えばレチクルの種類、照明条件などの要因ごとに、この要因の変動に伴って変化する結像性能を補償するための屈折率の値を予めメモリなどに記憶させておき、この要因の変動を検知し、記憶された関係に基づいて液体の屈折率を調整すれば良い。また、投影光学系を通過する露光エネルギー量の大小により投影光学系の結像性能が変化する、いわゆる照射変動があるが、この場合においても、露光エネルギー量と、この露光エネルギー量の大小によって変化する結像性能を補償するための屈折率の値を予めメモリなどに記憶させておき、この要因の変動を検知し、記憶された関係に基づいて液体の屈折率を調整すれば良い。なお、この手法において、メモリに記憶させる代わりに、所定の計算式で算出しても良い。

【0019】このように、液体の屈折率を調整することで、投影光学系の結像性能のうち、特に球面収差、像面湾曲の補正に効果的である。以下、図面を参照して、本発明にかかる実施の形態について説明する。

〔第1の実施の形態〕図1は、本発明にかかる第1の実施の形態による露光装置を概略的に示す図である。尚、図1では、XYZ座標系を採用している。

【0020】図1において、光源Sは、例えば波長248nmの露光光を供給し、この光源Sからの露光光は、照明光学系IL及び反射鏡Mを介してレチクルRをほぼ

均一な照度分布のもとで照明する。ここで、本例では光源Sとして、KrFエキシマレーザ光源を用いているが、その代わりに、193nmの露光光を供給するArFエキシマレーザ光源やg線、i線等を供給する高圧水銀ランプ等を用いても良い。また、図1では不図示ではあるが照明光学系ILは、面光源を形成するためのオプティカルインテグレータと、この面光源からの光を集光して被照射面を重畳的に均一照明するためのコンデンサ光学系と、オプティカルインテグレータにより形成される面光源の位置に配置されて面光源の形状を可変にするための可変開口絞りとを有するものである。ここで、面光源の形状としては、光軸から偏心した複数の面光源を持つもの、輪帯形状のもの、円形状であってその大きさがことなるものなどがある。このような照明光学系ILとしては、例えば米国特許第5,329,094号公報や米国特許第5,576,801号公報に開示されているものを用いることができる。

【0021】そして、レチクルRを通過・回折した露光光は、投影光学系Tを経てウエハW上に達し、ウエハ上には、レチクルRの像が形成される。ここで、レチクルRは、レチクルローダーRLによって保持され、レチクルローダーRLは任意の時にローダーテーブルLT上を駆動装置T1により、X軸及びY軸上で任意の速度で移動できるように構成されている。ここで、レチクルローダーRLのローダーテーブルLT上での移動速度は、速度センサーSSで検知され、この速度センサーSSからの出力は、第1制御部CPU1へ伝達される。

【0022】また、ウエハWは、ウエハテーブルWTにより保持されている。このウエハテーブルWTには、液体LQを溜めるための側壁が設けられている。本例では、この側壁により、ウエハWから投影光学系Tまでの光路の全てが液体LQで満たされる構成となっている。このウエハテーブルWTは、駆動装置T2によりホルダーテーブルHT上でX軸方向及びY軸方向に任意の速度で移動できるように構成されている。

【0023】ここで、上記の第1制御部CPU1は、レチクルローダーRLのローダーテーブルLT上での移動速度と、投影光学系Tの露光倍率 $\beta$ とからウエハテーブルWTのホルダーテーブル上での移動速度を算出し、駆動装置T2へ伝達する。駆動装置は、第1制御部CPU1から伝達された移動速度に基づいて、ウエハテーブルWTを移動させる。

【0024】図2は、このウエハテーブルWTの構成を詳細に表した図である。この図2において、投影光学系Tの最もウエハW側の光学部材と、投影光学系Tの金枠との間は、液体LQが浸透してこないように密着しているか、パッキングされている。また、ウエハテーブルWTの底部には、複数の開口が設けられており、これらの開口に接続されている配管Vから減圧することにより、ウエハWはウエハテーブルWTに吸着されている。そし

て、ウエハテーブルWTには、電極D1、D2が設けられており、これらの電極D1、D2のそれぞれの周囲には、イオン交換膜I1、I2が設けられている。これらのイオン交換膜I1、I2により、電極D1、D2の周囲と、露光光が液体LQを通過する領域とが区切られる。ここで、電極D1の周囲の雰囲気はイオン交換膜I1と隔壁K1とにより密閉空間となっており、この密閉空間には排気管H1が接続されている。また、電極D2の周囲の雰囲気はイオン交換膜I2と隔壁K2とにより密閉空間となっており、この密閉空間には排気管H2が接続されている。これらの排気管H1、H2は、ともに混合器Kに接続されている。この混合器Kには、電磁弁DVを備えた導入管LDの一端が接続されており、この導入管LDの他端は、ウエハテーブルWTの近傍に位置している。

【0025】電極D1、D2への印可電圧は図示なき電源供給部から供給され、電源供給部が供給する印可電圧は、第2制御部CPU2により制御される。また、電磁弁DVの開閉に関してもは、第2制御部CPU2が制御する。本例では、これらの電極D1、D2、イオン交換膜I1、I2、隔壁K1、K2、排気管H1、H2、混合器K、電磁弁DV、導入管LD、図示なき電源供給部、第2制御部CPU2が屈折率調整手段を構成している。

【0026】以下、屈折率調整手段の動作について説明する。以下の説明において、液体LQは、純水に添加剤として塩化水素を加えたものであるとしている。まず、液体LQの屈折率を下げる場合、第2制御部CPU2は、電源供給部へ指令を送り、電極D1及び電極D2の間に所定の電圧を所定の時間だけ加印する。このとき、陽極となる電極からは酸素気体が発生し、陰極となる電極からは水素と塩素との混合気体が発生する。このとき、液体LQにおける塩化水素濃度が下がるため、上記(1)式からもわかるように、液体LQの屈折率が低下する。ここで、各々の電極D1、D2の近傍で発生した気体は、イオン交換膜I1、I2を通過しないため、排気管H1、H2を介して回収することが可能である。この回収された気体は、混合器Kへ送られる。混合器Kでは、回収された気体（酸素気体、水素気体、塩化水素気体）が混ぜ合わせられ、これより、液体LQよりも高濃度の添加物水溶液が生成される。

【0027】また、液体LQの屈折率を上げる場合、第2制御部CPU2は、電磁弁DVを開いて高濃度の添加物水溶液を液体LQへ加えるように、電磁弁DVへ指令を送る。これにより、液体LQの屈折率が上昇する。この構成により、液体LQの屈折率を可変にできる。さて、第2制御部CPU2に接続されているメモリーM1には、種々の照明条件ごとに対応して屈折率の値がテーブルの形で記憶されている。ここで、屈折率の値は、ある照明条件下において投影光学系Tで生じる収差を補正

するために必要な液体LQの屈折率の値である。また、このメモリーM1には、ある時点における液体LQ中の添加物濃度の値が、常に更新される形で保管されている。

【0028】また、上記の照明光学系ILは、この照明光学系ILが形成する面光源の形状に関する情報を第2制御部CPU2へ伝達するために、第2制御部CPU2と接続されている。ここで、照明条件一本例では面光源の形状が変化すると、この情報は第2制御部CPU2へ伝達される。このとき、第2制御部CPU2は、伝達された照明条件に対応する屈折率の値をメモリーM1から検索し、その屈折率を実現するための添加物の濃度を上記(1)式から計算する。次に第2制御部CPU2は、メモリーM1に保管されている現在の添加物濃度と、計算された添加物濃度とに従って、現在の添加物濃度を計算された添加物濃度とするように、電極D1、D2あるいは電磁弁DVを制御する。

【0029】これにより、液体LQの屈折率の値は、液体LQを含めたときの投影光学系Tの収差が補正されるものとなる。

〔第2の実施の形態〕第2の実施の形態は、第1の実施の形態における添加物をエチルアルコールとした点が大きく異なる。このエチルアルコールは、感光性基板としてのレジストが塗布されたウエハWのレジスト層を溶解せず、投影光学系Tにおける最もウエハW側の光学部材（液体LQと接する光学部材）及びこの光学部材に施された光学コートへの影響が少ない利点がある。

【0030】また、第2の実施の形態においては、屈折率調整手段の構成が第1の実施の形態のものとは異なる。以下、図3を参照して屈折率調整手段の構成につき説明する。なお、図3において、図2に示したものと同一機能を有する部材には、同じ符号を付してある。第2の実施の形態によるウエハテーブルWTを示す図3において、第1の実施の形態のものとは異なる点は、添加物を液体LQへ供給するための添加物供給管LSと、純水を液体LQへ供給するための純水供給管WSと、液体LQがウエハテーブルWTから溢れないように液体LQを排出する排出管Lとを有する点である。

【0031】ここで、添加物供給管LS、純水供給管WS及び排出管Lには、添加物及び純水の供給量を調整するための電磁弁DVLS、DVWS及び液体LQの排出量を調整するための電磁弁DVLがそれぞれ設けられており、これらの電磁弁DVLS、DVWS、DVLの開閉は、第2制御部CPU2により制御されている。第2の実施の形態における屈折率調整時の動作について説明する。

【0032】まず、液体LQの屈折率を上げる場合、第2制御部CPU2は電磁弁DVLSを制御して、所定の量だけ添加物を液体LQへ加える。このとき、排出管Lから液体LQを所定の量だけ排出する。この排出する液

液体LQの量は、加えられた添加物の量と同じであることが好ましい。これにより、液体LQ中の添加物濃度が高まり、その屈折率が上昇する。

【0033】また、液体LQの屈折率を下げる場合、第2制御部CPU2は電磁弁DVWSを制御して、所定の量だけ純水を液体LQへ加える。このとき、排出管Lから液体LQを所定の量だけ排出する。この排出する液体LQの量は、加えられた純水の量と同じであることが好ましい。これにより、液体LQ中の添加物濃度が低くなり、その屈折率が低下する。

【0034】ここで、加えられる添加物及び純水の量、排出する液体LQの量は、第2制御部CPU2により制御される。なお、メモリーM1内に照明条件の種類に対応して屈折率の値が記憶される点、ある時点における液体LQの添加物濃度の値が保管される点は、上述の第1の実施の形態と同様であり、これらの情報に基づいて、投影光学系Tの収差を補正できる屈折率を実現するための添加物濃度を計算する点も第1の実施の形態と同様である。

【0035】このようにして、第2の実施の形態における第2制御部CPU2は、メモリーM1に保管されている現在の添加物濃度と、計算された添加物濃度とに従って、現在の添加物濃度を計算された添加物濃度とするように、電磁弁DVLS、DVWS、DVLの開閉を制御する。これにより、液体LQの屈折率の値は、液体LQを含めたときの投影光学系Tの収差が補正されるものとなる。

【第3の実施の形態】次に、図4を参照して第3の実施の形態について説明する。第3の実施の形態による露光装置は、収差測定装置を備えている点で上述の第1及び第2の実施の形態とは異なる。なお、図4において、上述の図1～図3の例と同じ機能を有する部材には同じ符号を付してあり、図1と同様のXYZ座標系を採用している。

【0036】図4において、光源Sは、波長248nmの露光光を供給し、この光源Sからの露光光は、ビーム整形光学系11により所定形状の断面に整えられた後、第1フライアイレンズ12に入射する。第1フライアイレンズ12の射出側には、複数の光源像からなる2次光源が形成される。この2次光源からの露光光は、リレーレンズ系13F、13Rを経て第2フライアイレンズ15へ入射する。このリレーレンズ系は前群13F及び後群13Rから構成され、これらの前群13F及び後群13Rの間には、被照射面上でのスペックルを防止するための振動ミラー14が配置されている。

【0037】さて、第2フライアイレンズ15の射出面側には、第1フライアイレンズによる2次光源の像が複数形成され、これが3次光源となる。この3次光源が形成される位置には、所定の形状あるいは所定の大きさを持つ複数の開口絞りを設定できる可変開口絞り16が配

置されている。この可変開口絞り16は、例えば図5に示すように、石英などで構成された透明基板上にパターンニングされた6つの開口絞り16a～16eをターレット状に設けたものである。ここで、円形開口を持つ2つの開口絞り16a、16bは、 $\sigma$ 値（投影光学系の開口数に対する照明光学系の開口数）を変更するための絞りであり、輪帯形状を持つ2つの開口絞り16c、16dは、互いに輪帯比の異なる絞りである。そして、残りの2つの開口絞り16e、16fは、4つの偏心した開口を有する絞りである。この可変開口絞り16は、可変開口絞り駆動ユニット17により、複数の開口絞り16a～16fのうち何れか一つが光路内に位置するように駆動される。

【0038】図4に戻って、可変開口絞り16からの露光光は、コンデンサレンズ系18により集光されてレチクルブラインド19上を重畳的に照明する。レチクルブラインド19は、リレー光学系20F、20Rに関してレチクルRのパターン形成面と共役配置されており、レチクルブラインド19の開口形状によりレチクルR上での照明領域の形状が決定される。レチクルブラインド19からの露光光は、リレー光学系の前群20F、反射鏡M及びリレー光学系の後群20Rを介してレチクルR上の所定の位置に実質的に均一な照度分布の照明領域を形成する。

【0039】なお、前述の第1及び第2の実施の形態における照明光学系ILは、この実施の形態に示したビーム整形光学系11～リレー光学系20F、20Rを適用することもできる。さて、レチクルRは、レチクルローダーRL上に載置されており、このレチクルローダーRLは、ホルダーテーブルLT上で図中XY方向及びZ軸を中心とした回転方向（ $\theta$ 方向）に移動可能となっている。このレチクルローダーRLには、移動鏡RIMが設けられており、レチクル干渉計RIは、レチクルローダーRLのXY方向及び $\theta$ 方向の位置を検出する。また、レチクルローダーRLは、レチクルローダー駆動ユニットRLDによりXY方向及び $\theta$ 方向へ駆動される。ここで、レチクル干渉計RIからの出力は、第1制御部CPU1へ伝達され、第1制御部CPU1は、レチクルローダー駆動ユニットRLDを制御する構成となっている。

【0040】また、図示なきレチクルストッカーからの搬送路の途中には、レチクルRに設けられたバーコードを読みとるためのバーコードリーダーBRが設けられている。このバーコードリーダーBRが読みとったレチクルRの種類に関する情報は、第2制御部CPU2へ伝達される。ここで、第2制御部CPU2に接続されているメモリーM1には、レチクルRの種類ごとに最適な照明条件に関する情報と、レチクルRの種類ごとに最適な液体LQの屈折率の値とが記憶されている。

【0041】レチクルRの下側には、所定の縮小倍率 $\beta$ を有する投影光学系Tが設けられており、この投影

光学系Tの最もウエハ面側の光学部材とウエハWとの間には、液体LQが介在している。投影光学系Tは、この液体LQを介してウエハ面上にレチクルRの縮小像を形成する。ウエハWは、ウエハテーブルWTに吸着固定されており、このウエハテーブルWTは、ウエハテーブルWT自体のZ軸方向への移動やティルト（Z軸に対する傾き）を行わせるためのZアクチュエータZD1、ZD2、ZD3を介して、定盤に対してXY方向に移動可能なウエハステージWTSに取り付けられている。このウエハステージWTSは、ウエハステージ駆動ユニットWDにより駆動される。また、ウエハテーブルの側壁は鏡面加工が施されており、この部分がウエハ干渉計WIの移動鏡となっている。ここで、ウエハステージ駆動ユニットWDの駆動は上述の第1制御部CPU1で制御され、ウエハ干渉計WIからの出力は第1制御部CPU1へ伝達される構成となっている。

【0042】また、投影光学系Tには、投影光学系TとウエハWとの間のZ方向の距離を測定するためのフォーカスセンサAFが設けられている。このフォーカスセンサAFは、投影光学系TにおけるウエハW側に近い光学素子を介してウエハ面上に光を照射し、かつウエハで反射された光を上記光学素子を介して受光し、その受光位置により投影光学系TとウエハWとの間のZ方向の距離を測定するものである。このようなフォーカスセンサAFの構成は、例えば特開平6-66543号公報に開示されている。

【0043】さて、第3の実施の形態においても、添加物保管部LSTに貯蔵される高濃度の添加物水溶液を液体LQへ供給するための添加物供給管LSと、純水保管部WSTに貯蔵される純水を液体LQへ供給するための純水供給管WSとを備えており、添加物供給管LS及び純水供給管WSには、添加物水溶液及び純水の供給量を調整するための電磁弁DVLS、DVWSが設けられている。また、ウエハテーブルWTには、液体LQがウエハテーブルから溢れないように液体LQを排出するための排出管Lが設けられており、この排出管Lには、液体LQの排出量を調整するための電磁弁が設けられている。これらの電磁弁DVLS、DVWS、DVLの開閉は、上述の第2の実施の形態と同様に、第2制御部CPU2により制御されている。

【0044】また、ウエハテーブルWT上には、投影光学系の収差を測定するための収差測定部ASと、液体LQの添加物濃度を検出するための添加物濃度検出部DSとが設けられている。ここで、収差測定部ASとしては、例えば特開平6-84757号公報に開示されているものを用いることができる。ここで、収差測定部AS及び添加物濃度検出部DSからの出力は、第2制御部CPU2へ伝達される。また、添加物濃度検出部DSからの出力は、第2制御部CPU2を介してメモリーM1へある時点における液体LQの添加物濃度の値として保管され

る。

【0045】次に、第3の実施の形態の動作について説明する。まず、図示なきレチクルストッカーからレチクルRが取り出されてレチクルローダーRL上に載置される途中に、バーコードリーダーBRは、レチクルRに設けられているバーコードを読み取り、その情報を第2制御部CPU2へ伝達する。第2制御部CPU2は、メモリーM1に記憶されているレチクルRの種類に対応した照明条件に関する情報を読み出し、その情報に従って、可変開口絞り駆動ユニット17を制御して開口絞り16a～16fのうちの所定の一つを光路内に位置させる。また、第2制御部CPU2は、メモリーM1に記憶されている液体LQの屈折率の値に基づいて、その屈折率を実現するための添加物の濃度を上記(1)式から計算する。その後、添加物濃度検出部DSにより検出されてメモリーM1に保管されている現在の添加物濃度と、計算された添加物濃度とに従って、現在の添加物濃度を計算された添加物濃度とするように、電磁弁DVLS、DVWS、DVLの開閉を制御する。

【0046】これにより、液体LQの屈折率の値は、液体LQを含めたときの投影光学系Tの収差が補正されるものとなる。この後、フォーカスセンサAFによりウエハWのZ方向の位置及びティルトを検出して、ウエハWが所要の位置になるようにZアクチュエータZD1、ZD2、ZD3を駆動する。この状態において、光源Sからの露光光を照明光学系を介してレチクルRへ導き、第1制御部CPU1は、レチクル干渉計RI及びウエハ干渉計WIによりレチクルR及びウエハWの位置を検出しつつ、レチクルローダー駆動ユニットRLD及びウエハステージ駆動ユニットWDを駆動させ、レチクルR及びウエハWを投影光学系Tの投影倍率 $\beta$ の速度比の元で移動させる。これにより、レチクルR上のパターンは、良好な結像状態のもとでウエハW上へ転写される。

【0047】さて、投影光学系Tの結像性能（収差など）は、常に一定ではなく、温度変化や大気圧変化、投影光学系Tが露光光を吸収することによる温度上昇などにより変化する場合がある。そこで、第3の実施の形態では、収差測定部ASにより実際の投影光学系Tの収差（結像性能）を測定し、この測定結果に基づいて液体LQの屈折率の値を調整する構成としている。

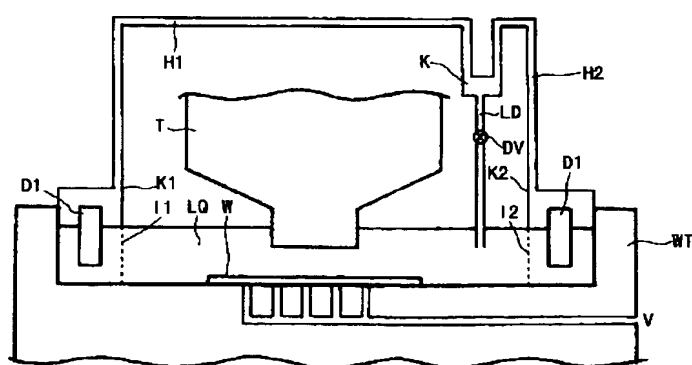
【0048】具体的には、第3の実施の形態では、メモリーM1内に投影光学系の収差値に対応させた形で、その収差を補正できる液体LQの屈折率の値が記憶されている。そして、収差測定部ASにより検出された投影光学系Tの収差は、第2制御部CPU2へ伝達される。第2制御部CPU2は、メモリーM1内に記憶されている液体LQの屈折率の値を読み出し、この屈折率の値になるように添加物濃度を上記(1)式より求め、液体LQがその添加物濃度となるように電磁弁DVLS、DVWS、DVLの開閉を制御する。

【発明の効果】以上に示したように本発明によれば、投影光学系の結像性能を振動なく連続的に調整をすること

【符号の説明】

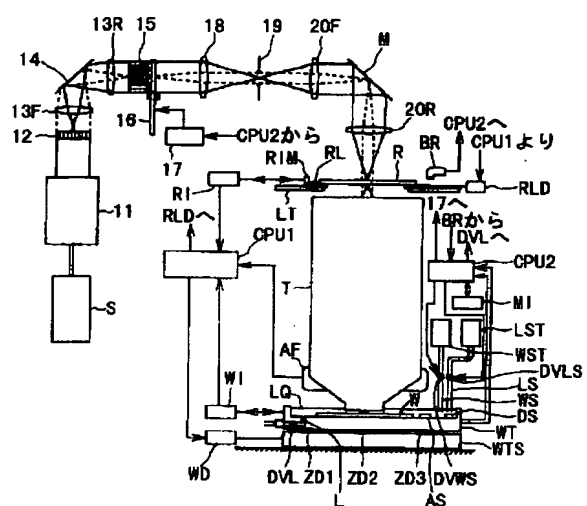
S・・・光源	T 2・・・駆動装置
I L・・・照明光学系	M 1・・・メモリー
M・・・反射板	V・・・減圧管
T・・・投影光学系	D 1、D 2・・・電極
W・・・ウエハ	I 1、I 2・・・イオン交換
膜	
L Q・・・液体	K 1、K 2・・・隔壁
R・・・レチクル	H 1、H 2・・・配管
R L・・・レチクルローダー	L・・・排出管
L T・・・ローダーテーブル	L D・・・導入管
S S・・・センサー	W S・・・純水供給管
W T・・・ウエハテーブル	L S・・・添加物供給管
T 1・・・駆動装置	

【図 2】

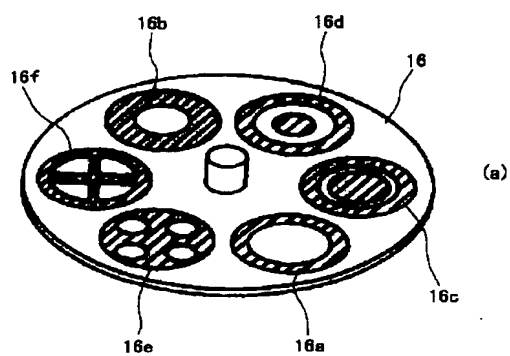




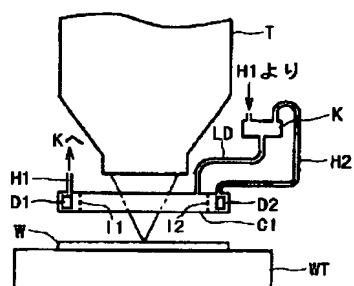
【図 4】



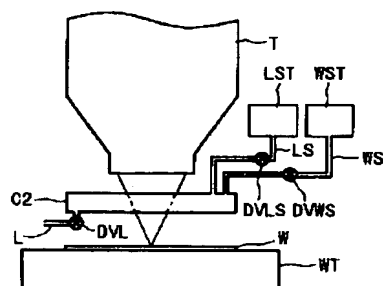
【图 5】



【图 6】



(b)



(54) [Title of the Invention] EXPOSURE APPARATUS, ITS  
MANUFACTURING AND EXPOSURE METHOD, AND DEVICE MANUFACTURING  
METHOD

(57) [Abstract]

[Problem] To enable continuous correction of image forming performance without vibration, or achieve both an increase in the numerical aperture of a projection optical system and the correction of image forming performance.

[Solution] An exposure apparatus having an illumination optical system IL for illuminating a pattern provided on a reticle R and a projection optical system T for forming an image of the pattern on a photosensitive substrate, which performs exposures through a liquid LQ located at least part of an optical path between the projection optical system and the photosensitive substrate, wherein the exposure apparatus further comprising refractive index adjusting means for adjusting the refractive index of the liquid.

[Claims]

[Claim 1] An exposure apparatus having an illumination optical system for illuminating a pattern provided on a reticle and a projection optical system for forming an image of the pattern on a photosensitive substrate, and which performs exposures through a liquid located at least part of an optical path between the projection optical system and the photosensitive substrate, the exposure apparatus comprising:

refractive index adjusting means for adjusting the refractive index of the liquid.

[Claim 2] The exposure apparatus according to claim 1, wherein the refractive index adjusting means adjusts the refractive index of the liquid to correct the image forming performance of the projection optical system.

[Claim 3] The exposure apparatus according to claim 2, further comprising

image forming performance measuring means for measuring the image forming performance of the projection optical system,

wherein the refractive index adjusting means adjusts the refractive index of the liquid to correct the image forming performance.

[Claim 4] The exposure apparatus according to claim 1, further comprising

variable factor sensing means for sensing the state of the factor causing a fluctuation in the image forming

performance of the projection optical system,

wherein the refractive index adjusting means adjusts the refractive index of the liquid to correct the image forming performance according to the state of the factor.

[Claim 5] The exposure apparatus according to claim 4, wherein

the illumination optical system is configured to be able to change the illumination conditions for the reticle,

the variable factor sensing means senses the state of the illumination conditions, and

the refractive index adjusting means adjusts the refractive index of the liquid to correct the image forming performance according to the change in the illumination conditions.

[Claim 6] The exposure apparatus according to claim 4, wherein the variable factor sensing means discriminates the kind of reticle, and

the refractive index adjusting means adjusts the refractive index of the liquid to correct the image forming performance according to the kind of reticle.

[Claim 7] The exposure apparatus according to any one of claims 1 through 6, further comprising

a photosensitive substrate holder for holding the photosensitive substrate,

wherein the photosensitive substrate holder includes a side wall for filling the liquid in an optical path between the projection optical system and the

photosensitive substrate, and a supply/recovery unit for supplying the liquid to the photosensitive substrate holder and recovering the liquid from the photosensitive substrate holder.

[Claim 8] The exposure apparatus according to any one of claims 1 through 7, wherein the refractive index adjusting means includes an additive supply unit for supplying an additive for adjusting the refractive index of the liquid and an additive recovery unit for recovering the additive from the liquid.

[Claim 9] An exposure method, including a step of illuminating a reticle under predetermined illumination conditions and a step of transferring a pattern provided on the reticle to a photosensitive substrate using a projection optical system, in which light from the projection optical system is guided to the photosensitive substrate through a predetermined liquid, the method comprising:

a step of adjusting the refractive index of the liquid to correct the image forming performance of the projection optical system.

[Claim 10] A device manufacturing method, including illuminating a reticle under predetermined illumination conditions and a step of transferring a device pattern provided on the reticle to a photosensitive substrate using a projection optical system, in which light from the projection optical system is guided to the photosensitive

substrate through a predetermined liquid, wherein

when at least either the reticle or the illumination conditions is changed, the refractive index of the liquid is changed.

[Claim 11] A method for manufacturing an exposure apparatus provided with an illumination optical system for illuminating a pattern provided on a reticle and a projection optical system for forming an image of the pattern on a photosensitive substrate, and provided for performing exposures through a liquid located at least part of an optical path between the projection optical system and the photosensitive substrate, the method comprising:

a step of measuring the image forming performance of the projection optical system, and

a step of determining an initial value for the refractive index of the liquid based on the measured image forming performance.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] The present invention relates to an exposure apparatus equipped with a projection optical system for projecting a device pattern provided on a reticle to the surface of a photosensitive substrate, an exposure method using the exposure apparatus and device manufacturing method. More particularly, the present invention relates to an immersion exposure apparatus in which the optical path between the projection optical

system and a photosensitive substrate is filled with a liquid. The present invention is suitably used for manufacturing semiconductor devices, image pickup devices (such as CCDs), liquid crystal display devices, thin film magnetic heads, or the like.

[0002]

[Prior Art] A space between the last or front face of an optical system and an image surface is called working distance. The working distance of a projection optical system in the conventional exposure apparatus is filled with air. With ever increasing demand for finer patterns to be exposed to a silicon wafer in the process of manufacturing ICs or LSIs, it is necessary to make the exposure wavelength shorter or increase the numerical aperture on the image side. The shorter the light wavelength, the less the glass materials having satisfactory image forming performance and transmittance enough to ensure a satisfactory amount of exposure light.

[0003] Therefore, use of a liquid having a refractive index larger than that of air as the last medium to the image plane to increase the numerical aperture on the image side has been proposed. An exposure apparatus having a projection optical system using such a liquid is called an immersion exposure apparatus. On the other hand, there is known an exposure apparatus technique for providing an exchangeable image forming performance-correcting element in an optical path of the projection optical system closest

to the object side or the image side to adjust image forming performance in order to correct the image forming performance of the projection optical system.

[0004]

[Problems to be Solved by the Invention] However, since the immersion exposure apparatus is configured to fill a liquid in the optical path (working distance) between the projection optical system and the photosensitive substrate, it is difficult to arrange such an element to correct image forming performance. Further, since only a finite number of image forming performance-correcting elements, about a few pieces in consideration of practical exposure apparatus design, can be prepared, there also arises a problem that can correct image forming performance only in a discrete manner.

[0005] The image forming performance of the projection optical system also needs to fall within a predetermined allowable range, but the discrete correction of the image forming performance makes it difficult for the image forming performance to fall within the predetermined allowable range. Especially, as the exposure pattern is required to be finer or the exposed area is required to be larger, the allowable range of the image forming performance is narrowed. Even using such a scanning exposure method to perform exposures while scanning the reticle and the photosensitive substrate, since the allowable range of changes in image forming performance



characteristics is narrowed, the discrete correction is insufficient.

[0006] In addition, during replacement of image forming performance-correcting elements, vibration occurs in the projection optical system itself, and this could adversely affect the image forming performance. Therefore, it is a first object of the present invention to enable continuous correction of image forming performance without vibration. It is a second object of the present invention to achieve both an increase in the numerical aperture of a projection optical system and the correction of image forming performance.

[0007]

[Means for Solving the Problems] In order to attain the first object of the present invention, there is provided an exposure apparatus having an illumination optical system for illuminating a pattern provided on a reticle and a projection optical system for forming an image of the pattern on a photosensitive substrate, and which performs exposures through a liquid located at least part of an optical path between the projection optical system and the photosensitive substrate, the exposure apparatus comprising refractive index adjusting means for adjusting the refractive index of the liquid.

[0008] According to a preferred embodiment as set forth in claim 2, the refractive index adjusting means adjusts the refractive index of the liquid to correct the image forming

performance of the projection optical system. According to another preferred embodiment as set forth in claim 3 based on the above structure, the exposure apparatus further comprises image forming performance measuring means for measuring the image forming performance of the projection optical system, wherein the refractive index adjusting means adjusts the refractive index of the liquid to correct the image forming performance.

[0009] According to still another preferred embodiment as set forth in claim 4, the exposure apparatus further comprises variable factor sensing means for sensing the state of the factor causing a fluctuation in the image forming performance of the projection optical system, wherein the refractive index adjusting means adjusts the refractive index of the liquid to correct the image forming performance according to the state of the factor. According to yet another preferred embodiment as set forth in claim 5 based on the above structure, the illumination optical system is configured to be able to change the illumination conditions for the reticle, the variable factor sensing means senses the status of the illumination conditions, and the refractive index adjusting means adjusts the refractive index of the liquid to correct the image forming performance according to the change in the illumination conditions.

[0010] According to yet another preferred embodiment as set forth in claim 6, the variable factor sensing means

discriminates the kind of reticle, and the refractive index adjusting means adjusts the refractive index of the liquid to correct the image forming performance according to the kind of reticle. Further, in order to attain the above-mentioned second object, it is preferable that the liquid be filled in the entire range of the optical path between the projection optical system and the photosensitive substrate. In this case, it is preferably that the exposure apparatus according to the present invention should include a side wall for filling the liquid in the optical path between the projection optical system and the photosensitive substrate and a supply/recovery unit for supplying the liquid to the photosensitive substrate holder and recovering the liquid from the photosensitive substrate holder, and further include a photosensitive substrate holder for holding the photosensitive substrate.

[0011] It is also preferable that the refractive index adjusting means should include an additive supply unit for supplying an additive for adjusting the refractive index of the liquid and an additive recovery unit for recovering the additive from the liquid.

[0012]

[Embodiments of the Invention] In the structures of the present invention as mentioned above, since the refractive index of the liquid located in the optical path between the projection optical system and the photosensitive substrate can be adjusted, the image forming performance of the

projection optical system can be corrected according to the change in the refractive index. In a refractive index adjusting technique, if the liquid is a mixed liquid of multiple substances, the refractive index  $n$  of the mixed liquid is determined according to the Lorentz-Lorenz formula:

[0013]

[Eq. 1]

$$\left( \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right) = \sum_{i=1,2,\dots} m_{(i)} \times \left( \frac{n_{(i)}^2 - 1}{n_{(i)}^2 + 2} \right) \times \frac{\rho}{\rho_{(i)}}$$

[0014] In this equation,

[0015]

[Eq. 2]

$n_{(i)}$  is the refractive index of the  $i$ -th substance,  $m_{(i)}$  is the weight fraction of the  $i$ -th substance, and  $\rho_{(i)}$  is the concentration of the  $i$ -th substance.

[0016] For example, if the liquid is an aqueous solution, the refractive index of the aqueous solution varies according to the concentration of the aqueous solution itself. Therefore, the concentration of the substances added to the aqueous solution can be increased or decreased. Thus, the refractive index of the liquid can be changed to have a refractive index value enough to compensate the image forming performance of the projection optical system in order to optimize the image forming performance of the projection optical system.

[0017] The adjustment of refractive index can be made, for example, by measuring image forming performance such as aberration of the projection optical system to adjust the refractive index according to the measurement result. Alternatively, a fluctuation in a factor corresponding to a fluctuation in the image forming performance of the projection optical system can be sensed to adjust the refractive index according to the sensing result. In the former technique for measuring the image forming performance of the projection optical system, aberration or the like of the projection optical system can be measured during manufacturing of the exposure apparatus to set a refractive index value enough to compensate for the aberration as an initial value for the refractive index of the liquid. The adjustment of the refractive index in part of the adjustment process during manufacturing has the advantage of making adjustment and manufacturing work easy. In addition, an aberration measuring mechanism can also be provided in the exposure apparatus itself to change the refractive index of the liquid according to the result of aberration measurement by the aberration measuring mechanism.

[0018] On the other hand, in the latter technique, the kind of reticle, the status of illumination conditions, the amount of energy passing through the projection optical system or the like is considered to be the factor in which a fluctuation corresponding to the fluctuation in image

forming performance occurs. Here, since the illumination conditions ( $\sigma$  value, whether it is distorted illumination or not, etc.) for illuminating a reticle are optimized depending on the kind of pattern provided on the reticle, the image forming performance of the projection optical system including its aberration is changed when the illumination conditions are changed. A refractive index value for compensating the image forming performance varying with a fluctuation in each factor such as the kind of reticle or each of the illumination conditions is prestored in a memory or the like on a factor basis, so that a fluctuation in the factor can be sensed to adjust the refractive index of the liquid based on the stored relation. The image forming performance of the projection optical system also varies as the amount of exposure energy passing through the projection optical system increases or decreases, called projection fluctuation. In this case, the amount of exposure energy and a refractive index value for compensating the image forming performance varying with an increase or decrease in the amount of exposure energy are also prestored in a memory or the like, so that a fluctuation in this factor can be sensed to adjust the refractive index of the liquid based on the stored relation. In this technique, the refractive index value may be calculated according to a predetermined formula instead of being prestored in a memory.

[0019] The adjustment of the refractive index of the liquid

is effective in correcting the image forming performance of the projection optical system, especially spherical aberration or image surface curvature. The following describes preferred embodiments of the present invention with reference to the drawings.

[First Embodiment] FIG. 1 is a schematic diagram showing an exposure apparatus according to a first embodiment of the present invention. In FIG. 1, an XYZ coordinate is employed.

[0020] In FIG. 1, a light source S supplies exposure light having a wavelength of 248nm. The exposure light from the light source S illuminates the reticle R through an illumination optical system IL and a reflecting mirror M with a substantially uniform luminance distribution. In the embodiment, a KrF excimer-laser light source is used as the light source S, but any other type of light source may be used, such as an ArF excimer-laser light source supplying exposure light having a wavelength of 193nm or a high-pressure mercury lamp supplying g- or i-line light. Though not shown in FIG. 1, the illumination optical system IL has an optical integrator for forming a surface light source, a condenser optical system for condensing light from the surface light source to illuminate a projected surface uniformly in a superimposed manner, and a variable aperture stop arranged in the position of the surface light source formed by the optical integrator so that it will vary the shape of the surface light source. As the shape of the surface light source, a shape having a plurality of surface

light sources eccentric from the optical axis, the shape of an annular zone, various circular shapes of different sizes, etc, are used. As the illumination optical system IL, an illumination optical system disclosed, for example, in US Patent No. 5,329,094 or US Patent No. 5,576,801 can be used.

[0021] The exposure light that passed through the reticle R and was diffracted reaches the surface of the wafer W through a projection optical system T and forms an image of the reticle R on the wafer. The reticle R is held by a reticle loader RL. The reticle loader RL is capable of being driven by a drive unit T1 to move on a loader table LT along the X and Y axes at any speed at any time as required. The moving speed of the reticle loader RL on the loader table LT is sensed by a speed sensor SS, and the output of the speed sensor SS is sent to a first control part CPU 1.

[0022] The wafer W is held by a wafer table WT. The wafer table WT is provided with a side wall for pooling the liquid LQ. In the embodiment, the side wall allows the entire optical path from the wafer W to the projection optical system T to be filled with the liquid LQ. The wafer table WT is capable of being driven by a drive unit T2 to move on a holder table HT at any speed in the directions along the X and Y axes.

[0023] The first control part CPU 1 calculates the moving speed of the wafer table WT on the holder table from the moving speed of the reticle loader RL on the loader table



LT and the exposure magnification  $\beta$  of the projection optical system T to send the calculated moving speed to the drive unit T2. The drive unit moves the wafer table WT based on the moving speed sent from the first control part CPU 1.

[0024] FIG. 2 is a view showing a detailed configuration of the wafer table WT. In FIG. 2, the optical part closet to the wafer W side in the projection optical system T and a metal frame of the projection optical system T are brought into tight contact with each other without any clearance, or packing is inserted in the clearance. A plurality of openings are also provided in the bottom portion of the wafer table WT to draw the wafer W by suction on the wafer table WT by decreasing the pressure from piping V connected to these openings. Further, electrodes D1, D2 are provided in the wafer table WT, and ion exchange membranes I1, I2 are provided around these electrodes D1, D2, respectively. These ion exchange membranes I1, I2 separate the region around each of the electrodes D1, D2 from a region in which the exposure light passes through the liquid LQ. The atmosphere around the electrode D1 is an enclosed space by means of the ion exchange membrane I1 and a dividing wall K1, and an exhaust pipe H1 is connected to the enclosed space. The atmosphere around the electrode D2 is also an enclosed space by means of the ion exchange membrane I2 and a dividing wall K2, and an exhaust pipe H2 is connected to the enclosed space. These exhaust pipes H1, H2 are

connected to a mixing unit K. One end of an inlet tube LD equipped with an electromagnetic valve DV is connected to the mixing unit K, and the other end of the inlet tube LD is located near the wafer table WT.

[0025] Applied voltage to the electrodes D1, D2 is supplied from a power supply unit, not shown, and the applied voltage supplied from the power supply unit is controlled by a second control part CPU 2. The opening and closing of the electromagnetic valve DV is also controlled by the second control part CPU 2. In the embodiment, the electrodes D1, D2, the ion exchange membranes I1, I2, the dividing walls K1, K2, the exhaust pipes H1, H2, the mixing unit K, the electromagnetic valve DV, the inlet tube LD, the power supply unit, not shown, and the second control part CPU 2 constitute refractive index adjusting means.

[0026] The following describes the operation of the refractive index adjusting means. In the following description, the liquid LQ is pure water with hydrogen chloride added in it as an additive. First, when the refractive index of the liquid LQ should be reduced, the second control part CPU 2 sends an instruction to the power supply unit to apply a predetermined voltage between the electrode D1 and the electrode D2 for a predetermined period of time. During this period, oxygen gas is generated from the electrode on the anode side and a gas mixture of hydrogen and chlorine is generated from the electrode on the cathode side. Since the concentration of hydrogen

chloride in the liquid LQ is reduced, the refractive index of the liquid LQ is also reduced as apparent from the above equation (1). The gases respectively generated near the electrodes D1, D2 do not pass through the ion exchange membranes I1, I2, so that they can be recovered through the exhaust pipes H1, H2. The recovered gases are sent to the mixing unit K. In the mixing unit K, the recovered gases (oxygen gas, hydrogen gas, and hydrochloric gas) are mixed to generate an additive aqueous solution with a solute concentration higher than the liquid LQ.

[0027] On the other hand, when the refractive index of the liquid LQ is increased, the second control part CPU 2 sends an instruction to the electromagnetic valve DV to open so that the high-concentration additive aqueous solution will be added to the liquid LQ to increase the refractive index of the liquid LQ. This structure makes it possible to vary the refractive index of the liquid LQ. A refractive index value for each of various illumination conditions is stored in the form of a table in a memory M1 connected to the second control part CPU 2. The refractive index value is the refractive index of the liquid LQ required to correct aberration caused in the projection optical system T under a corresponding illumination condition. In the memory M1, an additive concentration value in the liquid LQ at a certain point of time is held and updated.

[0028] The illumination optical system IL is connected to the second control part CPU 2 to send the second control

part CPU 2 information relating to the shape of the surface light source formed by the illumination optical system IL. when an illumination condition, that is, the shape of the surface light source in this embodiment, is changed, this information is sent to the second control part CPU 2. The second control part CPU 2 retrieves a refractive index value corresponding to the sent illumination condition from the memory M1, and calculates an additive concentration according to the above equation (1) to achieve the refractive index. Then, based on the current additive concentration stored in the memory M1 and the calculated additive concentration, the second control part CPU 2 controls the electrodes D1, D2 or the electromagnetic valve DV to change the current additive concentration to the calculated additive concentration.

[0029] Thus, the refractive index of the liquid LQ is adjusted to correct the aberration of the projection optical system T including the liquid LQ.

[Second Embodiment] A major point in a second embodiment that differs from the first embodiment is that the second embodiment uses ethyl alcohol as the additive. Ethyl alcohol has the advantages of not dissolving the resist layer of the wafer W coated with a resist to form a photosensitive substrate, and less influence on the optical part closest to the wafer W side in the projection optical system T (that is, the optical part contacting the liquid LQ) and the optical coating on the optical part.

[0030] In addition, the structure of the refractive index adjusting means in the second embodiment is different from that in the first embodiment. Referring to FIG. 3, the structure of the refractive index adjusting means will be described below. Note that in FIG. 3 parts or members having the same functions as those in FIG. 2 are given the same reference numerals and symbols. In FIG. 3 showing the wafer table WT according to the second embodiment, points different from the first embodiment are that an additive supply pipe LS for supplying an additive to the liquid LQ, a pure water supply pipe WS for supplying pure water to the liquid LQ, and an exhaust pipe L for discharging the liquid LQ to prevent an overflow of the liquid LQ from the wafer table WT are provided.

[0031] Electromagnetic valves DVLS, DVWS are provided in the additive supply pipe LS and the pure water supply pipe WS, respectively, to adjust the supply of the additive and the pure water, and an electromagnetic valve DVL is provided in the exhaust pipe L to adjust the amount of discharge of the liquid LQ. The opening and closing of these electromagnetic valves DVLS, DVWS, DVL is controlled by the second control part CPU 2. The following describes the operation of adjusting the refractive index in the second embodiment.

[0032] First, when the refractive index of the liquid LQ is increased, the second control part CPU 2 controls the electromagnetic valve DVLS to add a prescribed amount of

additive to the liquid LQ. At this time, the liquid LQ is discharged by a prescribed amount through the exhaust pipe L. It is preferable that the amount of discharge of the liquid LQ be equal to the amount of additive added to the liquid LQ. This increases the additive concentration in the liquid LQ and hence the refractive index.

[0033] On the other hand, when the refractive index of the liquid LQ is reduced, the second control part CPU 2 controls the electromagnetic valve DVWS to add a prescribed amount of pure water to the liquid LQ. At this time, the liquid LQ is discharged by a prescribed amount through the exhaust pipe L. It is preferable that the amount of discharge of the liquid LQ be equal to the amount of pure water added to the liquid LQ. This reduces the additive concentration in the liquid LQ and hence the refractive index.

[0034] The amounts of added additive and pure water, and the amount of discharge of the liquid LQ are controlled by the second control part CPU 2. The other points that a refractive index value for each of various illumination conditions is stored in the memory M1, an additive concentration value in the liquid LQ at a certain point of time is held, and an additive concentration is calculated based on these pieces of information to achieve a refractive index that can correct the aberration of the projection optical system T are the same as in the first embodiment.

[0035] Then, based on the current additive concentration stored in the memory M1 and the calculated additive concentration, the second control part CPU 2 in the second embodiment controls the opening and closing of the electromagnetic valves DVLS, DVWS, DVL to change the current additive concentration to the calculated additive concentration. Thus, the refractive index value of the liquid LQ is adjusted to correct the aberration of the projection optical system T including the liquid LQ.

[Third Embodiment] Referring next to FIG. 4, a third embodiment will be described. An exposure apparatus according to the third embodiment is different from the first and second embodiments in that it is provided with an aberration measuring device. Note that in FIG. 4 parts or members having the same functions as those in FIGS. 1 to 3 are given the same reference numerals and symbols, and the same XYZ coordinate system as in FIG. 1 is employed.

[0036] In FIG. 4, the light source S supplies exposure light having a wavelength of 248nm. The exposure light from the light source S is shaped by a beam shaping optical system 11 into a predetermined cross section, and is incident on a first fly-eye lens 12. Secondary light sources consisting of a plurality of light source images are formed on the exit side of the first fly-eye lens 12. The exposure light from the secondary light sources is incident on a second fly-eye lens 15 through a relay lens system 13F, 13R. This relay lens system includes a front

group 13F and a rear group 13R, and a vibration mirror 14 is arranged between the front and rear groups to prevent the occurrence of speckles on the projected surface.

[0037] Images of the plurality of secondary light sources formed through the first fly-eye lens are formed as tertiary light sources on the exit surface side of the second fly-eye lens 15. A variable aperture stop 16 capable of setting a plurality of aperture stops having predetermined shapes or sizes is arranged at a position in which the tertiary light sources are formed. For example, as shown in FIG. 5, the variable aperture stop 16 has six aperture stops 16a-16f patterned in the form of a turret on a transparent substrate made of quartz and the like. Among these aperture stops, two aperture stops 16a, 16b each having a circular opening are to change the  $\sigma$  value (the numerical aperture of the illumination optical system relative to the numerical aperture of the projection optical system), and two aperture stops 16c, 16d each having the shape of an annular zone are different in the proportion of annular zones. The remaining two aperture stops 16e, 16f have four eccentric openings, respectively. The variable aperture stop 16 is driven by a variable aperture stop driving unit 17 to locate any one of the plurality of aperture stops 16a-16f in the optical path.

[0038] Returning to FIG. 4, the exposure light from the variable aperture stop 16 is condensed by a condenser lens system 18 to illuminate a reticle blind 19 in a



superimposed manner. The reticle blind 19 is conjugated with a pattern formed surface of the reticle R with respect to a relay optical system 20F, 20R so that the shape of the illuminated area on the reticle R will be defined depending on the shape of the opening of the reticle blind 19. The exposure light from the reticle blind 19 forms an illuminated area in a predetermined position on the reticle with a substantially uniform luminance distribution through the front-group relay optical system 20F, a reflecting mirror M, and the rear-group relay optical system 20R.

[0039] Note that the illumination optical system IL in the above first and second embodiments can also be replaced with the structure from the beam shaping optical system 11 to the relay optical system 20F, 20R in this embodiment. The reticle R is loaded on a reticle loader RL. The reticle loader RL can move on the holder table LT not only in the X and Y directions but in the direction of rotation about the Z axis ( $\theta$  direction) as shown in the figure. A moving mirror RIM is provided in the reticle loader RL, and a reticle interferometer RI detects the position of the reticle loader RL in the XY and  $\theta$  directions. The reticle loader RL is driven by a reticle loader driving unit RLD in the XY and  $\theta$  directions. The output of the reticle interferometer RI is sent to the first control part CPU 1 so that the first control part CPU 1 will control the reticle loader driving unit RLD.

[0040] A barcode reader BR for reading a barcode provided

on a reticle R is provided at some midpoint in a transport track from a reticle stocker, not shown. Information on the kind of reticle R obtained from the barcode read by the barcode reader BR is sent to the second control part CPU 2. Here, information relating to the optimum illumination condition for each kind of reticle R and the optimum refractive index value of the liquid LQ for each kind of reticle R are stored in the memory M1 connected to the second control part CPU 2.

[0041] The projection optical system T having a predetermined reduction ratio  $|\beta|$  is provided underneath the reticle R, and the liquid LQ lies between the optical part closest to the wafer surface side in the projection optical system T and the wafer W. the projection optical system T forms a reduced image of the reticle R on the wafer surface through the liquid LQ. The wafer W is fixed by suction on the wafer table WT. The wafer table WT is mounted on a wafer stage WTS through Z actuators ZD1, ZD2, ZD3 for actuating the wafer table WT to move in the Z direction or tilt (with respect to the Z axis). The wafer stage WTS is movable in the XY directions with respect to a base. The wafer stage WTS is driven by a wafer stage driving unit WD. The side wall of the wafer table is mirror-finished, and this mirror-finished portion serves as a moving mirror for a wafer interferometer WI. The wafer stage driving unit WD is controlled by the first control part CPU 1, and the output of the wafer interferometer WI is sent to the first

control part CPU 1.

[0042] A focus sensor AF is provided in the projection optical system T to measure the distance in the Z direction between the projection optical system T and the wafer W. The focus sensor AF projects a beam to the wafer surface through the optical element closest to the wafer W side in the projection optical system T, and receives a reflected beam from the wafer through the optical element to measure the distance in the Z direction between the projection optical system T and the wafer W based on the beam receiving position. The structure of such a focus sensor AF is disclosed, for example, in Japanese Patent Laid-Open No. 06-66543.

[0043] The additive supply pipe LS for supplying to the liquid LQ a high-concentration additive aqueous solution stored in an additive storage unit LST, and the pure water supply pipe WS for supplying to the liquid LQ pure water stored in a pure water storage unit WST are also provided in the third embodiment. Likewise, the electromagnetic valves DVLS, DVWS are provided in the additive supply pipe LS and the pure water supply pipe WS, respectively, to adjust the amounts of supply of the additive aqueous solution and the pure water, respectively. Further, the exhaust pipe L is provided in the wafer table WT to discharge the liquid LQ in order to prevent an overflow of the liquid LQ from the wafer table. The electromagnetic valve is also provided in the exhaust pipe L to adjust the

amount of discharge of the liquid LQ. The opening and closing of these electromagnetic valves DVLS, DVWS, DVL is controlled by the second control part CPU 2 in the same manner as in the above second embodiment.

[0044] In addition, an aberration measuring part AS for measuring the aberration of the projection optical system and an additive concentration detecting part DS for detecting the additive concentration of the liquid LQ are provided on the wafer table WT. A component disclosed, for example, in Japanese Patent Laid-Open No. 06-84757 can be used as the aberration measuring part. The output of the aberration measuring part AS and the additive concentration detecting part DS is sent to the second control part CPU 2. The output of the additive concentration detecting part DS is stored in the memory M1 through the second control part CPU 2 as an additive concentration value of the liquid LQ at a certain point of time.

[0045] The following describes the operation of the third embodiment. First, the barcode reader BR reads the barcode provided on the reticle R at some midpoint between when the reticle R was pulled out of the reticle stocker, not shown, and when it is loaded on the reticle loader RL, and sends the information to the second control part CPU 2. The second control part CPU 2 then reads the information relating to the illumination condition corresponding to the kind of reticle R stored in the memory M1, and controls the variable aperture stop driving unit 17 based on the

information to locate a corresponding one of the aperture stops 16a-16f in the optical path. Then, based on the refractive index value of the liquid LQ stored in the memory M1, the second control part CPU 2 calculates an additive concentration required to achieve the refractive index according to the above equation (1). After that, based on the current additive concentration detected by the additive concentration detecting part DS and stored in the memory M1 and the calculated additive concentration, the second control part CPU 2 controls the opening and closing of the electromagnetic valves DVLS, DVWS, DVL to change the current additive concentration to the calculated additive concentration.

[0046] Thus, the refractive index value of the liquid LQ is adjusted to correct the aberration of the projection optical system T including the liquid LQ. After that, the focus sensor AF detects the position and tilt of the wafer W in the Z direction to drive the Z actuators ZD1, ZD2, ZD3 in order to move the wafer W to a required position. Under this condition, the exposure light from the light source S is guided to the reticle R through the illumination optical system. The first control part CPU 1 controls the reticle interferometer RI and the wafer interferometer WI to detect the position of the reticle R and the wafer W, while it actuates the reticle loader driving unit RLD and the wafer stage driving unit WD to move the reticle R and the wafer W with a speed ratio corresponding to the reduction ratio  $|\beta|$ .

This makes it possible to transfer the pattern on the reticle R to the surface of the wafer W under good imaging conditions.

[0047] The image forming performance (such as aberration) of the projection optical system T does not always constant, that is, it could vary with a temperature change, an atmospheric pressure change, or a temperature rise caused by the projection optical system T absorbing the exposure light. Therefore, in the third embodiment, the aberration measuring part AS measures the actual aberration (image forming performance) of the projection optical system T to adjust the refractive index of the liquid LQ based on the measurement result.

[0048] Specifically, in the third embodiment, a refractive index value of the liquid LQ enough to correct the aberration is stored in the memory M1 in association with the aberration value of the projection optical system. The aberration of the projection optical system T detected by the aberration measuring part AS is sent to the second control part CPU 2. The second control part CPU 2 reads the refractive index value of the liquid LQ stored in the memory M1, calculates an additive concentration to achieve the refractive index value according to the above equation (1), and controls the opening and closing of the electromagnetic valves DVLS, DVWS, DVL to change the current additive concentration of the liquid LQ to the calculated additive concentration.

[0049] This structure makes it possible to keep the image forming performance in good condition even if an environmental change (temperature change, atmospheric pressure change, or fluctuation caused by absorption of exposure light) occurs in the projection optical system T. Note that the aberration measuring part AS does not need to perform measurements at all times, that is, it has only to perform measurements at every predetermined interval.

[Fourth Embodiment] Referring next to FIG. 6, a fourth embodiment will be described. An exposure apparatus according to the fourth embodiment is configured to fill the liquid in part of the optical path between the projection optical system and the wafer, rather than in the entire optical path.

[0050] In FIGS. 6(a), (b), parts or members having the same functions as those in the first and second embodiments shown in FIGS. 1-3 are given the same reference numerals and symbols. In the fourth embodiment shown in FIGS. 6(a), (b), a point different from the first and second embodiments is that the liquid LQ is filled in cases C1, C2 made of a material (such as quartz) capable of allowing the exposure light to pass through, instead of pooling the liquid LQ by means of the side wall of the wafer holder WT. Among the advantages of the first and second embodiments, the structure of this embodiment does not have the advantages of increasing the numerical aperture and the effective depth of focus, but it has the advantage of being

able to continuously adjust the aberration (image forming performance) of the projection optical system T.

[0051] In the fourth embodiment, the cases C1, C2 containing the liquid LQ may be provided integrally with the projection optical system T. In the aforementioned first-fourth embodiments, pure water is used as the liquid LQ, but the liquid LQ is not limited to the pure water.

[0052]

[Effects of the Invention] As described above, according to the present invention, the image forming performance of the projection optical system can be adjusted continuously without vibration. It is also possible to achieve an increase in numerical aperture (or an increase in the effective depth of focus) and the adjustment of image forming performance.

[Brief Description of the Drawings]

[FIG. 1] It is a schematic diagram showing the overall structure of an exposure apparatus according to first and second embodiments of the present invention.

[FIG. 2] It is a sectional view showing the main part of the exposure apparatus according to the first embodiment of the present invention.

[FIG. 3] It is a sectional view showing the main part of the exposure apparatus according to the second embodiment of the present invention.

[FIG. 4] It is a schematic diagram showing an exposure apparatus according to a third embodiment of the present



invention.

[FIG. 5] It is a schematic view showing part of the exposure apparatus according to the third embodiment of the present invention.

[FIG. 6] It is a sectional view showing the main part of the exposure apparatus according to the third embodiment of the present invention.

[Description of Notations]

S ... Light Source	T2 ... Drive Unit
IL ... Illumination Optical System	M1 ... Memory
M ... Reflecting Plate	V ... Decompression Pipe
T ... Projection Optical System	D1, D2 ... Electrodes
W ... Wafer	I1, I2 ... Ion Exchange Membrane
LQ ... Liquid	K1, K2 ... Dividing Wall
R ... Reticle	H1, H2 ... Piping
RL ... Reticle Loader	L ... Exhaust Pipe
LT ... Loader table	LD ... Inlet Tube
SS ... Sensor	WS ... Pure Water Supply Pipe
WT ... Wafer Table	LS ... Additive Supply Pipe
T1 ... Drive Unit	